

на стенде, так и в условиях эксплуатации на основе анализа сигналов имеющихся штатных датчиков.

2 Новизна проведённых исследований и полученных результатов.

Наиболее существенными результатами исследования, имеющими **научную новизну**, являются следующие.

1. Впервые предложен метод оценки технического состояния редуктора, нечувствительный к перестановке двигателя со стенда на борт летательного аппарата за счёт использования выявленных диагностических признаков по параметрам девиации мгновенных значений частоты узкополосного процесса вибрации и частоты вращения вала ГТД.

2. Разработан метод демодуляции на основе анализа максимумов широкополосной вибрации редуктора ГТД, обеспечивающий выявление и существенное повышение чувствительности диагностических признаков в широком диапазоне частот вибрационного процесса двигателя.

3. Разработана математическая модель возбуждения вибрационного сигнала в зацеплении пары «солнечная шестерня - сателлиты» планетарного редуктора при развитии износа зубьев, учитывающая широкий ряд составляющих вибрации, что позволяет выявить дополнительные диагностические признаки износа и идентифицировать источник резонансных колебаний элементов конструкции компрессора двигателя.

4. Предложен подход к оценке ширины спектральных линий сигналов: зубцовой составляющей вибрации, сигнала частоты вращения выходного вала редуктора в вибрационном процессе и в сигнале штатного тахометрического датчика, учитывающий рост ширины зубцовой компоненты с развитием износа зубчатого зацепления, что позволило предложить новые диагностические признаки оценки технического состояния ГТД.

5. Впервые установлена возможность использования динамических составляющих сигналов штатных тахометрических датчиков не только для оценки частот вращения валов ГТД, но и для диагностики износа зубьев редуктора.

6. Разработан комплекс новых диагностических признаков на основе анализа сигналов вибрации и динамических составляющих сигналов штатных тахометрических датчиков, позволяющий оценивать износ зубчатого зацепления редукторов ГТД, для обеспечения надёжности в процессе эксплуатации.

3 Степень обоснованности и достоверности полученных положений.

Достоверность полученных Сундуковым А.Е. результатов подтверждается корректной постановкой задачи моделирования, сопоставлением полученных результатов с данными других исследователей, практическим применением на ряде предприятий, результатами дефектации редуктора двигателя и сопоставлением фактических значений величины износа с данными диагностического анализа. Полученные результаты имеют ясную физическую трактовку и внутреннюю непротиворечивость. Всё это позволяет считать вполне обоснованными научные положения диссертационной работы, основные её результаты и выводы.

4 Значимость результатов, полученных в диссертации.

Теоретическая значимость

Теоретическая значимость заключается в том, что разработанные методы и модели расширяют научные основы оценки технического состояния ГТД, расширяют возможности разработки диагностических признаков как на основе анализа изменения

интенсивности вибрации, так и параметров частоты узкополосных колебаний, разработать критерии узкополосности для шумовых процессов и амплитудно-модулированных колебаний.

Практическая значимость работы заключается в том, что на основе проведённых теоретических и экспериментальных исследований:

- разработаны диагностические признаки оценки технического состояния на основе анализа вибрации и сигналов штатных тахометрических датчиков планетарных редукторов ГТД, существенно расширяющий объем диагностической информации;

- предложен метод устранения необходимости пересчёта уровней интенсивности диагностических признаков износа редуктора ГТД, построенных на базе интенсивностей вибрации, которые получены в условиях стенда при переходе на объект, за счёт использования разработанных диагностических признаков на основе параметров мгновенных значений частоты узкополосного процесса вибрации и частоты вращения вала ГТД, что практически в два раза сокращает затраты при разработке методов диагностики технического состояния за счёт исключения необходимости дополнительных измерений сигналов в условиях эксплуатации;

- разработаны методики оценки технического состояния редукторов ГТД: «Методика оценки величины износа зубьев на основе анализа изменения ширины и формы зубцовой спектральной составляющей», «Методика оценки величины бокового зазора на основе анализа интенсивности зубцовой гармоника», «Методика оценки износа боковых поверхностей зубьев шестерен редуктора изделия НК-12 МП (НК-12МППМ) по сигналу штатного тахометрического датчика частоты вращения вала заднего винта в условиях эксплуатации», «Методика вибродиагностики износа зубьев шестерён редуктора изделия НК-12МППМ» (утверждена ФГУП ЦИАМ им. П.И. Баранова и использовалась при проведении ГСИ модернизированного турбовинтового двигателя на объекте);

- разработаны рекомендации по назначению норм на диагностические признаки износа для обеспечения надёжности двигателя в эксплуатации;

- разработаны программные продукты обработки сигналов и методики мониторинга технического состояния планетарных редукторов ГТД;

- разработанные подходы внедрены и используются на предприятиях ПАО «ОДК-Кузнецов», АО «НК Дулисьма», ООО «НПС».

5 Соответствие автореферата диссертационной работе.

Содержание автореферата соответствует основным положением и выводам диссертации. Замечаний по оформлению диссертации нет. Стиль изложения работы ясный и последовательный с использованием положений технической диагностики, теорий колебаний, математической статистики и теории вероятности, цифровой обработки сигналов.

6 Замечания и недостатки.

- В диссертационной работе нет подробного анализа спектральных составляющих зубцовой гармоника пары «шестерня – вал – эпицикл»;

- недостаточно подробно описано влияние параметров профильной модификации зубьев солнечной шестерни, применяемой в процессе производства двигателя НК-12;

- при рассмотрении вопроса нормирования дана оценка допустимой величины износа для диагностического признака, однако не приведено анализа развития степени износа при эксплуатации двигателей с привязкой к их ресурсным показателям и наработке.

Указанные замечания не снижают уровень научной новизны и практической ценности работы Сундукова А.Е. и не препятствуют положительной оценке диссертации.

7 Заключение

Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, в которой содержится обоснованный подход к решению проблемы оценки технического состояния планетарных редукторов ГТД и его модификаций на основе разработанных диссертантом методов, моделей и комплекса диагностических признаков дефектов методов. Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Полученные Сундуковым А.Е. результаты имеют важное значение для обеспечения безаварийной эксплуатации двигателей с приводом воздушных винтов и вентиляторов через планетарный редуктор. Содержание автореферата отражает содержание диссертационной работы. Структура и оформление диссертации и автореферата выполнены согласно требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Выводы и рекомендации, приведённые в диссертационной работе, в достаточной степени аргументированы, отличаются логичностью и ясностью изложения. Результаты диссертационной работы имеют важное значение для развития авиационной техники, а их внедрение вносит значимый вклад в развитие отечественного авиационного комплекса.

Работа отвечает требованиям и критериям, установленным в п. 9, 10 и 11 Положения о присуждении учёных степеней (от 24.09.2013 г.), предъявляемым к докторским диссертациям, соответствует специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов, а её автор Сундуков Александр Евгеньевич заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук.

Отзыв обсужден и утвержден на расширенном НТС инжинирингового центра «Авиационные приводы» ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова» (Протокол № 6000-12/103А от 27 сентября 2024 года).

Председатель НТС,
Начальник отдела «Прочность, ресурс
и оптимальное проектирование» ИЦ 6000,
кандидат технических наук



Калинин Дмитрий Владимирович

Кандидатская диссертация защищена по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»

Контактные данные: Федеральное автономное учреждение (ФАУ) «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова»

Почтовый адрес: 111116, г. Москва, ул. Авиамоторная, 2

Тел.: +7 499 763-61-67,

E-mail: info@ciam.ru

Я, Ножницкий Юрий Александрович, утвердивший отзыв ведущей организации, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Сундукова Александра Евгеньевича, и их дальнейшую обработку.



Ю.А. Ножницкий